

La géochronologie

La géochronologie introduit la notion de temps. C'est la branche de la géologie cherchant à dater les événements successifs qui ont affecté le globe terrestre et à déterminer l'âge des roches.

I. LE PRINCIPE D'UNIFORMITARISME*

La première formulation par Lyell date de 1830 mais un russe en avait eu l'intuition dès 1757 :

“ Les agents géologiques qui agissent actuellement [...] sont les seules forces qui modifient la face de la Terre ”

Comme les courants marins, le climat, les volcans, la tectonique, l'érosion*. Ainsi, les causes géologiques actuelles sont identiques aux anciennes causes :

“ Les causes invoquées aujourd'hui pour les phénomènes géologiques sont les mêmes que les causes invoquées anciennement ”

Puvost, 1956

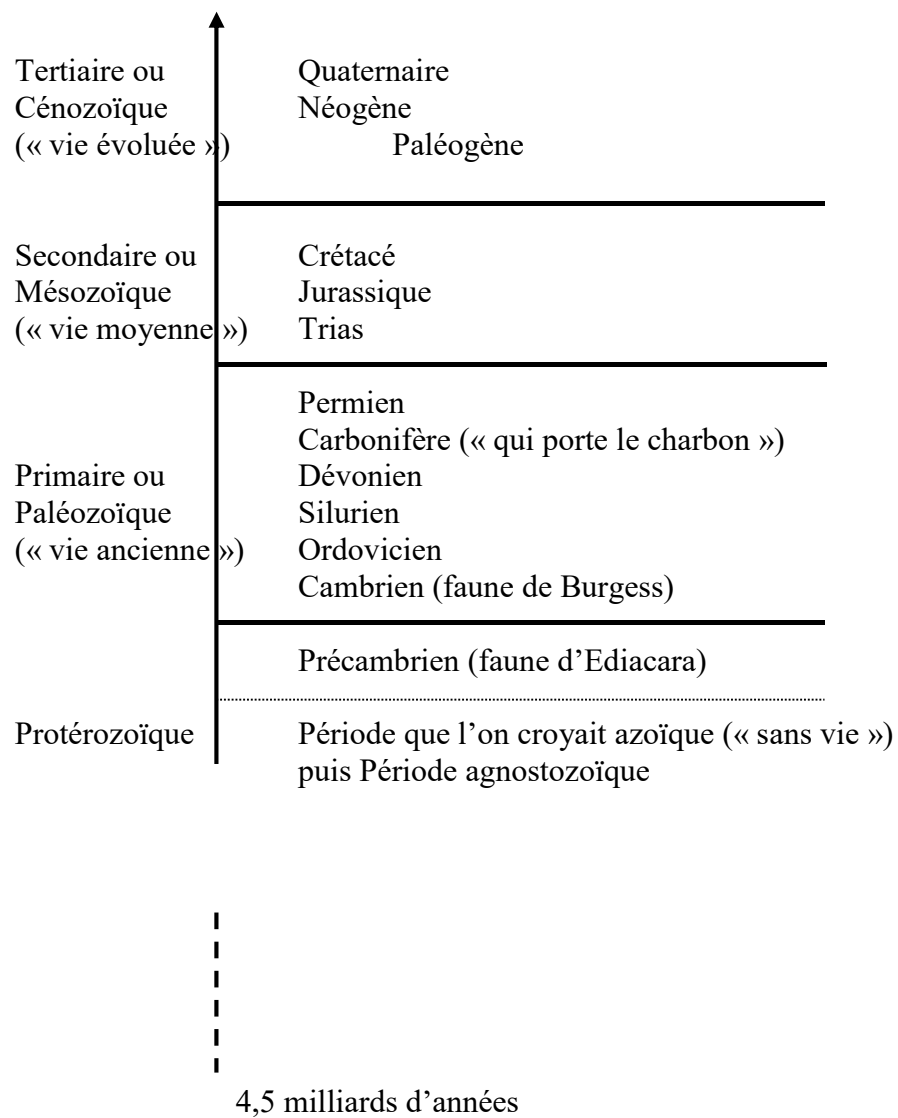
C'est un principe qui est globalement vrai. Par exemple, le magnétisme de la Terre rentre en ligne de compte pour la datation au ^{14}C , or ce magnétisme a varié au cours des temps. Cet outil n'est donc pas fiable à 100%.

II. LA GEOCHRONOLOGIE RELATIVE

1. L'échelle stratigraphique

Elle est basée sur des événements géologiques comme l'apparition de nouvelles espèces ou même leur disparition. C'est un outil de datation relative.

NB : l'ère quaternaire n'existe pas, c'est une période.



2. Fondement de cette échelle

Cette échelle repose tout d'abord sur :

- les principes stratigraphiques
- des coupures

a. Les principes

* Le principe d'identité paléontologique

Des terrains possédant les mêmes fossiles* sont de même âge quelle que soit la nature des terrains. Cependant, il existe des limites de validité :

Il existe des fossiles de faciès*, c'est à dire liés à des conditions écologiques particulières. Il faudra donc retrouver des conditions identiques.

Il existe des provinces faunistiques, ainsi les ostracodes du nord sont différents de ceux du sud, il faut donc être vigilant. Les marsupiaux, par exemple, vivent exclusivement en Australie alors que son climat n'est pas unique. Attention aux migrations de faunes mais c'est un cas très rare.

* Le principe de superposition stratigraphique

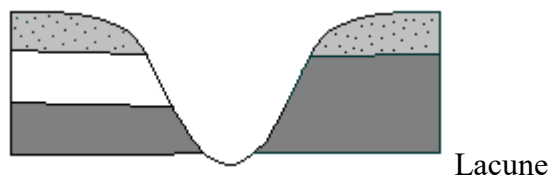
Le terrain le plus au-dessous est le terrain le plus ancien. Mais il existe encore une fois une limite de validité :

Il faudra des terrains non déformés. Pour rechercher une présence de quelconque déformation, on recherche des critères de polarité :

- Polarité paléontologique : liée aux conditions de vie d'un animal fossilisé (le crinoïde est un animal fixé dont on sait très bien où est le haut).
- Polarité sédimentologique : granoclassement* vertical.
- Polarité géotropique : on peut distinguer un brachiopode retourné car la cristallisation à l'intérieur de son organisme est toujours orientée vers le haut ; c'est le remplissage géopète*.

* Le principe de continuité stratigraphique

Une couche est de même âge partout où elle peut être observée et ceci peu importe les natures et épaisseurs différentes de la couche. Ainsi, grâce à certaines caractéristiques minéralogiques particulières, on peut retrouver la même couche dans le Boulonnais et dans les Ardennes. Cependant, nous pouvons avoir des compositions différentes pour une même couche. Attention également aux lacunes, il peut parfois manquer une couche :



Il existe également le passage latéral de faciès*.

b. Les coupures

On utilise plusieurs coupures qui sont des événements paléontologiques. On utilise la notion d'apparition et de disparition des espèces, ainsi, la plus grande crise se situe au Primaire (99% des êtres vivants ont disparu). Donc, les grandes divisions et subdivisions sont le résultat de grandes crises.

* Coupure stratigraphique

Le cycle sédimentaire (transgression et régression de la mer par glaciation par exemple) délimite bien des couches sédimentaires. Le Secondaire a ainsi trois périodes : Trias, Jurassique et Crétacé.

* Coupure tectonique

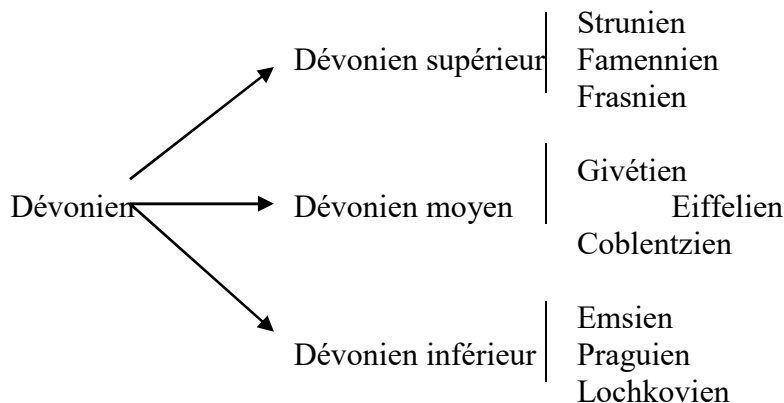
Il y a eu plusieurs plissements* (rencontres de plaques continentales) qui délimitent des périodes :

1. Le plissement Icartien qui affecte la partie inférieure du Protérozoïque.
2. Une période dans le Précambrien avec le plissement Cadomien (Ex : en Normandie ou en Bretagne).
3. Une dans la partie inférieure du Primaire (le Silurien) avec une orogénèse (ou orogénie) : le plissement Calédonien (Ex : dans les Ardennes).
4. Dans la partie supérieure du Primaire : Le plissement Hercynien qui se déroule en plusieurs phases.
5. Le plissement Alpin dans le Tertiaire qui n'en est qu'à ses balbutiements.

Un plissement s'étale sur 100 à 200 millions d'années.

L'échelle est donc divisée en :

- Ères : Primaire, Secondaire...
- Époques (ou systèmes) : Permien, Dévonien...
- Étages :



Ils tirent leur nom de localités géographiques où ils ont été découverts et définis.

On parle de stratotype* : référence internationale, ainsi ce que l'on peut voir en Chine est comparable à ce que l'on voit à Etrœungt (d'où le nom de Strunien). Le stratotype est plus une référence historique puisque son nom est donné selon le premier endroit où telle caractéristique géographique a pu être observée, il est donc complété par le parastratotype qui est une référence plus représentative.

Il y a plusieurs types d'unités de temps :

(1) Les unités définies sur le terrain

Ce sont les unités lithostratigraphiques définies à l'aide de faciès : observation des différentes couches à l'affleurement par exemple. Le banc est la plus petite unité définie.

- regroupement de bancs = membre
- ensemble de membres = formation
- ensemble de formations = groupe

Pour qu'une formation soit cartographiable, elle doit au moins faire 250m d'épaisseur.

(2) Les unités qui correspondent à des intervalles de temps

Ce sont les unités biostratigraphiques définies par la présence de fossiles. On parle alors de biozone* : tranche de temps caractérisée par un fossile marqueur (faible durée de vie mais grande extension géographique).

Il existe des correspondances entre ces différentes unités :

* Les unités chronostratigraphiques

C'est un ensemble de couches qui se déposent pendant une unité de temps.

La plus petite unité est la chronozone, l'ensemble de chronozones est l'étage, l'ensemble d'étages est le système. Nous avons finalement l'erathème.

* Les unités géochronologiques

Ce sont des unités de temps représentant une durée :

Ère	⇒	erathème
Période	⇒	système
Âge	⇒	étage
Chron	⇒	chronozone

Il faut définir les références de chaque étage. Par exemple, dans le Dévonien, on a des étages, dont le Givétien (dont la référence a été prise dans la région de Givet).

Il faut définir les limites, inférieures et supérieures, de l'étage ou stratotype c'est à dire les caractéristiques par les fossiles. Quand tel ou tel animal apparaît ou disparaît, il existe alors une limite.

3. La magnétostratigraphie

Dans cette chronologie relative, on peut apporter un certain nombre de précisions autres que celles déjà vues, et en particulier par la magnétostratigraphie.

Rappelons-nous que le champ magnétique a toujours eu la même direction mais pas le même sens d'où les différentes orientations de la magnétite.

Ex : dans un étage, le Givétien, on peut avoir des calcaires avec des trilobites. On peut étudier l'orientation des cristaux dans une biozone, ce qui définit des périodes inverses ou normales. On peut réaliser des divisions de biozones par magnétostratigraphie.

L'autre intérêt se situe dans les corrélations ; pour corréler des séries continentales avec des séries marines.

III. LA GEOCHRONOLOGIE ABSOLUE

On peut utiliser l'échelle avec des âges absolus. C'est une datation qui permet d'attribuer un âge chiffré.

1. Dénombrement de couches

- La dendrochronologie* est la datation par le dénombrement de couches de croissance des arbres. On peut remonter à plus de 20 000 ou 30 000 ans. Elle est utilisée pour le Quaternaire. On peut y détecter la pollution et également retrouver des insectes prisonniers.
- Les varves* sont des dépôts doubles sédimentaires dus à un dépôt saisonnier, c'est assez fréquent en domaine lacustre : en hiver, on a une couche sombre et en été une couche plus claire. On remonte à 10 000 ans.
- On peut également observer les lignes de croissance des invertébrés comme chez le *zaphrentis*.
- Carottage en Antarctique, comptage des couches.

2. La radiochronologie

Elle est basée sur le principe de désintégration radioactive de certains corps instables qui se transforment en corps stables (ex : uranium en plomb).

Ainsi, quand on connaît la période de désintégration de l'élément, c'est à dire quand la moitié de quantité initiale de l'élément est transformée en corps stable, on fait le rapport et on trouve l'âge absolu de ce composé.

a. Les isotopes

A l'état naturel, beaucoup d'éléments existent sous forme d'isotopes différents. Certains sont naturellement stables et d'autres instables. Au cours des temps, les éléments instables se transformeront en éléments souvent différents et stables ou instables.

Tout élément est caractérisé par son numéro et sa masse atomique : Z_A . Le magnésium a, par exemple, trois isotopes : Mg 24, Mg 25, Mg 26. Dans la nature, le magnésium naturel se trouve sous ces 3 formes qui sont connues et établies :

Mg 24 à 78%
Mg 25 à 10%
Mg 26 à 12%

b. Loi de désintégration nucléaire

Elle s'exprime ainsi : $\delta x / \delta t = -\lambda t$

δx est le nombre d'atomes instables qui se désintègrent pendant δt .

λ est la constante de désintégration propre à l'élément radioactif.

Donc, à t , on a le nombre x_t d'atomes instables restants, on peut donc doser x_t et l'analyser :

$$x_t = x_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

x_0 est le nombre initial de l'élément instable quand il s'est formé. Mais on ne connaît pas toujours x_0 , il peut être déterminé grâce au ^{14}C .

* Quand il est connu : $x_0/x_t = 1/e^{-\lambda t} = \dots \Rightarrow \lambda t = \ln(x_0/x_t) \Rightarrow t = 1/(\lambda \cdot \ln(x_0/x_t))$

* Quand il est inconnu, on sait qu'il se transformera en élément stable. On note donc :

$$x_f = \text{nombre d'élément fils} = x_0 - x_t$$

$$x_0 = x_f + x_t \Rightarrow t = 1/\lambda \cdot \ln(x_f/x_t + 1)$$

On change donc de variable : T (période de l'élément radioactif). On sait donc que c'est le temps nécessaire à la désintégration de la moitié de la quantité initiale de x_f .

$$x_t = \frac{1}{2} x_0 \Rightarrow x_0/x_t = 2 \Rightarrow T = 1/\lambda \cdot \ln 2 = 0,693 \cdot \lambda$$

c. Les principales méthodes

* Chronologie au carbone 14

C'est une méthode où x_0 est connu car la teneur dans l'atmosphère est connue puisqu'on admet le principe d'actualisme, on suppose que la teneur n'a pas bougé.

Elle ne fonctionne que sur des restes organiques (os, dent...). La teneur en carbone 14 d'un corps est radioactive, il existe naturellement dans l'atmosphère en teneur connue (donc x_0 connu) et il est assimilé par tous les êtres vivants.

Quand un organisme meurt, le ^{14}C instable incorporé se retransforme en ^{14}N stable. Or on connaît la période de désintégration de ce carbone 14 : 5 568 ans ($\frac{1}{2}g$ disparaît donc en 5 568 ans). On ne peut, par définition, remonter à plus de 5 ou 10 fois la période de l'élément.

On peut ainsi dater jusqu'à 40 000 ans et surtout en archéologie (préhistoire).

Attention cependant au principe d'uniformitarisme car la teneur en ^{14}C a pu varier au cours des temps. Le principe de l'invariance est en fait faux car la teneur en ^{14}C dépend du bombardement solaire, de l'activité magnétique de notre étoile et de la Terre dont on sait que les paramètres sont changeants (il existe des corrections).

* Chronologie au potassium argon (K/A)

À l'état naturel, on trouve le ^{39}K (93%), ^{40}K (0,01%) qui est le seul radioactif ($^{40}\text{K} \rightarrow \text{Ca} + \text{A}$) et le ^{41}K (7%). On étudie donc uniquement $^{40}\text{K}/\text{A}$ car le calcium a trop d'importance dans les êtres vivants. Sa période est de $1,25 \cdot 10^9$ ans. On ne peut ainsi dater que les minéraux des roches éruptives (basaltes, granites et en particulier dans les feldspaths et micas). Cette méthode, qui est la plus employée, recouvre 1 milliard 250 millions d'années.

On ne peut donc pas dater de terrains calcaires avec cette technique.

* Chronologie au plomb (Pb)

Il provient de : $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ (Thorium)

La période de désintégration du plomb est de 14.10^9 ans. La meilleure méthode est celle qui utilisera et combinera les 3 isotopes du plomb avec beaucoup de précision. Ces minéraux radioactifs sont abondants dans les roches magmatiques et métamorphiques. Le granite est très radioactif car il contient de la biotite noire comportant elle-même du zircon dont le noyau est radioactif.

* Autres méthodes

$^{234}\text{U} / ^{230}\text{Th}$	période = 250 000 ans	(uranium / thorium)
$^{230}\text{Th} / ^{226}\text{Ra}$	période = 75 000 ans	(thorium / radon)
$^{87}\text{Rb} / ^{87}\text{Sr}$	période = 49.10^9 ans	(rubidium / strontium)
$^{187}\text{Re} / ^{187}\text{Os}$	période = 44.10^9 ans	(rhénium / osmium)

d. Difficultés de la méthode

* Tout d'abord, c'est une procédure qui doit être réalisée par plusieurs laboratoires : précision des datations. Ensuite, le minéral étudié doit être représentatif de l'âge de la roche et non pas avoir été hérité d'une roche antérieure ou formée par diagenèse* (minéraux diagénétiques).

Exemple : dans le sable, on peut trouver des zircons alors que ceux-ci appartiennent au granite qui s'est désagrégé en grès.

* Il faut savoir choisir la bonne méthode.

* La précision des mesures est également un problème car plus l'âge est grand et plus l'incertitude est grande.

* Pour homologuer un résultat, il faut envoyer 3 échantillons à 3 laboratoires indépendants différents utilisant des méthodologies officielles différentes

* Il faut finalement que l'élément mesuré ait été conservé intégralement dans un système clos sans pertes ni apports au cours du temps.

Exemple : dater un feldspath trouvé dans une roche métamorphique, qui est une roche qui s'est transformée par augmentation de pression et de température, et qui n'est donc plus représentatif de la roche mère. C'est un système ouvert.

En conclusion, la chronologie absolue sert à compléter l'échelle stratigraphique ; les étages n'ont donc pas tous la même durée les uns par rapport aux autres. Ils sont disproportionnels.

La radiochronologie est une méthode moins précise (précision de 20 à 50 millions d'années) que l'étude des fossiles et de l'échelle stratigraphique (1 million d'années).

La géochronologie est donc l'ensemble des méthodes permettant d'assigner un âge aux roches ou aux minéraux. On distingue la datation absolue basée en particulier sur les méthodes et techniques radiométriques permettant de dater des minéraux de roches magmatiques ou de roches métamorphiques ; puis la datation relative basée sur les principes de la stratigraphie et les répartitions des fossiles.

